

УДК 621.3.011.74.005

В.В. Михайленко, В.В. Піксотов, Л.В. Малафійчук, І.В. Маляра

## **МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДВАНАДЦЯТИПУЛЬСНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ТРИФАЗНОЇ НАПРУГИ З ЧОТИРНАДЦЯТИЗОННИМ РЕГУЛЮВАННЯМ ВИХІДНОЇ НАПРУГИ**

*Анотація:* У статті проведено аналіз електромагнітних процесів в електричних колах з напівпровідниковими комутаторами. Створено математичну модель дванадцятипульсного напівпровідникового перетворювача з чотирнадцятизонним регулюванням вихідної напруги для аналізу електромагнітних процесів у напівпровідникових перетворювачах з широтно-імпульсним регулюванням. Наведено графіки, що відображають електромагнітні процеси у електричних колах.

*Ключові слова:* електромагнітні процеси, вихідні напруга та струм.

### **Вступ**

Перетворення електричної енергії дозволяють використовувати в перетворювальних установках ланку високої частоти з частотою переключення вентилів значно більшою від частоти змінної напруги промислової мережі. У роботах [1–6] показана доцільність використання структур напівпровідникових перетворювачів (НПП) з однократною модуляцією при побудові систем вторинного електропостачання для комплексів діагностики електромеханічних пристроїв із різноманітним видом вхідної енергії. У даній роботі проводиться аналіз аспекту використання тієї ж структури НПП в якості ланки високої частоти, що стосується побудови й аналізу перетворювачів для електромеханічних комплексів із широтно-імпульсним регулюванням (ШІР) постійної напруги при чотирнадцятизонному керуванні.

**Метою роботи** є створення математичної моделі дванадцятипульсного напівпровідникового перетворювача з чотирнадцятизонним регулюванням вихідної напруги.

### **Аналіз електромагнітних процесів**

Структурна схема НПП показана на рис. 1. На структурній схемі позначено: СМ1 і СМ2 – блоки силових модуляторів фазних і лінійних напруг відповідно; ВВ1 і ВВ2 – високочастотні випрямлячі фазних і лінійних напруг; СК – система керування і Н – навантаження, яке має активно-індуктивний характер. Кожний з блоків СМ має у своєму складі випрямлячі та інвертори, навантажених на узгоджувальні трансформатори.

© В.В. Михайленко, В.В. Піксотов, Л.В. Малафійчук, І.В. Маляра, 2015

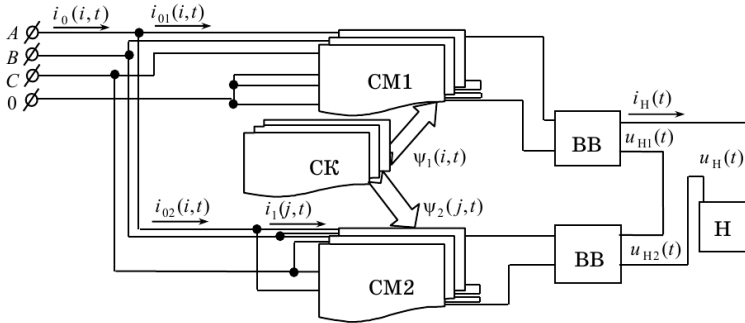


Рис. 1 – Структурна схема перетворювача

При складанні математичної моделі перетворювача використовується метод багатопараметричних модулюючих функцій [2], який передбачає попереднє представлення алгоритмічного рівняння перетворювача. При цьому приймемо такі припущення: вхідна енергетична мережа симетрична і її внутрішній опір дорівнює нулю, транзистори і діоди інвертора випрямленої напруги (ІВН) представляються ідеальними ключами, узгоджувальні трансформатори в кожній з зон регулювання вихідної напруги не мають втрат, а навантаження перетворювача має еквівалентний активно-індуктивний характер.

Таким чином кожен СМ має в своєму складі  $N$  ІВН, де  $N$  – це число інверторів.

Створення математичної моделі перетворювача передбачає розробку математичного забезпечення, спроможного провести аналіз його електромагнітних процесів відносно енергії, яка генерується, з урахуванням характеру навантаження, енергії, яка при цьому споживається, а також енергії, яка перетворюється в окремих ланках і в окремих елементах перетворювача.

Алгоритмічне рівняння перетворювача записано у публікації [2]:

$$u_H(t) = \frac{1}{k_T} \left( \sum_{n=1}^{N=7} \sum_{i=1}^3 u_{11}(i, t) \phi_1(i, t) \psi_1(i, t) \nu_1(t) + \sum_{n=1}^{N=7} \sum_{j=1}^3 u_{12}(j, t) \phi_2(j, t) \psi_2(j, t) \nu_2(t) \right), \quad (1)$$

де:  $i = 1, 2, 3$  і  $j = 1, 2, 3$  – номери фазних і лінійних напруг енергетичної мережі відповідно;  $k_T$  – коефіцієнт трансформації трансформаторів;  $\psi_{B1}(i, t)$  і  $\psi_{B2}(j, t)$  – модулюючі функції, які співпадають за часом з фазними і лінійними напругами;  $u_{11}(i, t)$  і  $u_{12}(j, t)$  – миттєві значення лінійних напруг;  $\nu_1(t)$  і  $\nu_2(t)$  – еквівалентні модулюючі впливи  $BB1$  і  $BB2$ ;  $n = 1, 2, 3, \dots, N$  – номери зон регулюван-

ня вихідної напруги;  $N$  – кількість ІВН в кожному СМ;  $\psi_{B1}(i, t) = \text{sign} \left[ \sin \left( \omega_1 t - \varphi - \frac{(i-1)2\pi}{3} \right) \right]$  – модулюючі функції, які співпадають за часом з положенням відповідних фазних напруг мережі живлення;  $\psi_{B2}(j, t) = \text{sign} \left[ \sin \left( \omega_1 t - \varphi + \frac{\pi}{6} - \frac{(j-1)2\pi}{3} \right) \right]$  – модулюючі функції, які співпадають за часом з положенням відповідних лінійних напруг мережі живлення;  $u_{01}(i, t) = E_m \sin \left( \omega_1 t - \varphi - \frac{(i-1)2\pi}{3} \right)$  – миттєві значення вхідних фазних напруг мережі живлення,  $u_{02}(j, t) = E_m \sin \left( \omega_1 t - \varphi + \frac{\pi}{6} - \frac{(j-1)2\pi}{3} \right)$  – миттєві значення вхідних фазних напруг мережі живлення,  $E_m$  – амплітудне значення фазної напруги;  $\omega_1 = 2\pi f_1$  і  $\varphi$  – відповідно кругова частота і початкова фаза напруги живлення;  $\psi_1(i, t)$  – множина еквівалентних модулюючих впливів  $j$ -х СМ,  $\psi_2(j, t)$  – множина еквівалентних модулюючих впливів  $j$ -х СМ.

Струм на навантаженні перетворювача знайдемо, як реакцію одноконтурного RL-ланцюга на дію напруги  $u_H(t)$

$$i_H(t)R + L \frac{di_H(t)}{dt} = u_H(t), \quad (2)$$

де:  $R$  і  $L$  – відповідно активний опір і індуктивність навантаження.

Рішення (2) відносно струму навантаження визначимо числовим методом за допомогою функції `odesolve` математичного процесора `MATHCAD`

$$i_H(t) = \text{odesolve}(t, k, p), \quad (3)$$

де:  $t$  – час;  $k$  – часовий інтервал;  $p$  – кількість точок на часовому інтервалі.

Діаграми струму навантаження в координатах вихідної напруги перетворювача, побудовані за (3) для чотирнадцятизонного регулювання представлені на рис. 2.

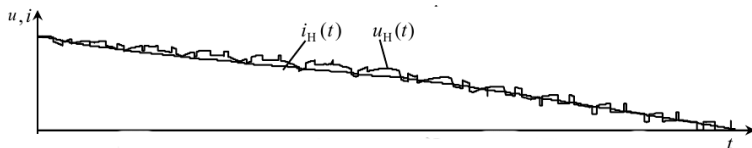


Рис. 2 – Діаграми струму та напруги навантаження

Фазні струми  $i_{01}(i, t)$  знаходимо з виразу

$$i_{01}(i, t) = \frac{\sum_{n=1}^{N=7} i_H(t) \psi_{B1}(i, t) \psi_1(i, t) \nu_1(t)}{k_T}. \quad (4)$$

Лінійні струми  $i_{12}(j, t)$  знаходимо з виразу виду

$$i_{12}(j, t) = \frac{\sum_{n=1}^{N=7} i_H(t) \psi_{B2}(j, t) \psi_2(j, t) \nu_2(t)}{k_T}. \quad (5)$$

Фазні струми  $i_{02}(i, t)$  знаходимо з співвідношень

$$\begin{aligned} i_{02}(1, t) &= i_{12}(1, t) - i_{12}(3, t) \\ i_{02}(2, t) &= i_{12}(2, t) - i_{12}(1, t) \\ i_{02}(3, t) &= i_{12}(3, t) - i_{12}(2, t) \end{aligned} \quad (6)$$

Вхідні фазні струми енергетичної мережі у кожній  $i$ -й фазі знаходимо з виразу:

$$i_0(i, t) = i_{01}(i, t) + i_{02}(i, t). \quad (7)$$

Діаграми вхідних фазних струмів перетворювача в координатах напруг енергетичної мережі, побудовані за (7), представлені на рисунку 3.

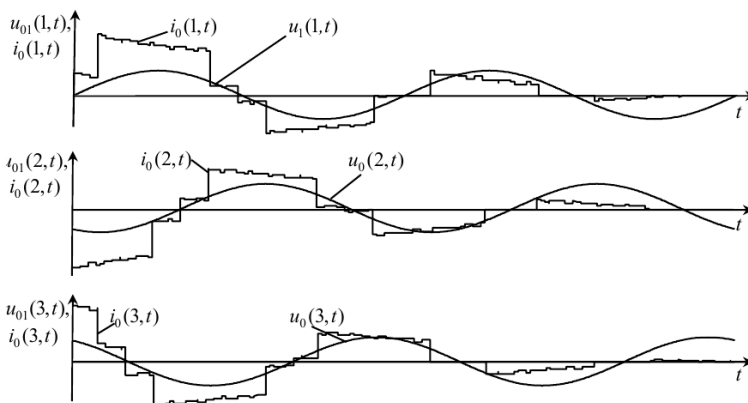


Рис. 3 – Діаграми вхідних фазних струмів  $i$ -тих фаз мережі в координатах входних напруг

## Висновки

У данні роботі було виконано аналіз електромагнітних процесів в електричних колах з напівпровідниковими комутаторами. Використовуючи метод багатопараметричних модулюючих функцій було знайдено струм і напругу навантаження, а також вхідні струми перетворювача. У роботі розвинуто метод багатопараметричних функцій в частині розробки нової математичної моделі з багатозонним регулюванням вихідної напруги та визначення модулюю-

чих функцій для аналізу за підсистемними складовими структури електричних кіл з напівпровідниковими комутаторами.

### Список використаних джерел

1. Макаренко М.П. Математична модель перетворювача трифазної напруги в постійну напругу / М.П. Макаренко, В.В. Михайленко // *Електроніка и связь*. – 2002. – № 14. – С. 73–75.
2. Патент 18750. України. МПК H02M 1/02. Інвертор напруги / М.П. Макаренко, В.В. Михайленко, В.В. Пілінський, заявник та власник патенту НТУУ “КПІ” – Завл. 31.05.2006, опубл. 15.11.2006. Бюл. № 11.
3. Патент 20985. України. МПК H02M 1/02. Модулятор випрямленої напруги / М.П. Макаренко, В.В. Михайленко, Заявник та власник патенту НТУУ “КПІ” – Завл. 18.09.2006, опубл. 15.02.2007. Бюл. № 2.
4. Макаренко М.П. Системний аналіз електромагнітних процесів у напівпровідникових перетворювачах електроенергії модуляційного типу / М. П. Макаренко, В.І. Сенько, М. М. Юрченко – К. : НАН України, ІЕД, 2005. – 241 с.
5. Макаренко М.П. Аналіз електромагнітних процесів у перетворювачах з багатозонним регулюванням вихідної напруги функціями багатопараметричного виду / М. П. Макаренко, В. В. Михайленко // *Техн. електродинаміка. Тем. вип. “Силова електроніка та енергоефективність”*. – 2002. – Ч. 1. – С. 19–22.
6. Макаренко Н.П. Анализ электромагнитных процессов в двенадцатипульсном преобразователе с зонным регулированием выходного напряжения / Н. П. Макаренко, В. В. Михайленко, Н. Н. Юрченко // *Вестник НТУ “Харьковский политехнический институт”*. “Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика”. – 2002. – Т. 1. – С. 233–234.

Отримано 12.10.2015 р.